

DOI: 10.11830/ISSN.1000-5013.202007050



不同处治方法下酸性闪长岩沥青 混合料长期水稳性能室内试验

谭波, 刘学文

(桂林理工大学 广西建筑新能源与节能重点实验室, 广西 桂林 541004)

摘要: 为研究不同处治方法下酸性闪长岩沥青混合料的长期水稳定性, 针对广西浦北至北流高速公路沿线酸性闪长岩集料, 用水泥替代矿粉、消石灰水浸泡集料和抗剥落剂改性沥青等处治方法改善酸性闪长岩与沥青的粘附性. 获得 3 种处治方法的最佳掺量和最佳油石比后, 通过冻融劈裂试验和反复冻融烘劈裂试验, 评价酸性闪长岩沥青混合料的短期和长期水稳定性. 结果表明: 3 种处治方法的酸性闪长岩沥青混合料短期水稳定性良好; 消石灰水浸泡集料和水泥替代矿粉处治方法的 10 次冻融烘劈裂强度比分别为 91%, 89%, 长期水稳定性较好; 抗剥落剂改性沥青处治方法受湿热老化的影响, 10 次冻融烘劈裂强度比仅为 80%, 长期水稳定性较差.

关键词: 酸性闪长岩; 沥青混合料; 粘附性; 冻融烘劈裂试验; 长期水稳定性

中图分类号: U 414 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-5013(2021)05-0605-06

Laboratory Test of Long-Term Water Stability of Acid Diorite Asphalt Mixture Under Different Treatment Methods

TAN Bo, LIU Xuewen

(Guangxi Key Laboratory of Building New Energy and Energy Conservation,
Guilin University of Technology, Guilin 541004, China)

Abstract: In order to study the long-term water stability of acid diorite asphalt mixture under different treatment methods, taking the acid diorite aggregate along the highway from Pubei to Beiliu in Guangxi as an example, 3 treatment methods were used to improve the adhesiveness between acid diorite and asphalt, such as cement instead of mineral powder, hydrated lime water immersion aggregate and anti-stripping agent modified asphalt. The optimal dosage and optimal asphalt-aggregate ratio of 3 treatment methods were obtained, the short-term and long-term water stability of acid diorite asphalt mixture were evaluated through freeze-thaw split test and repeated freeze-thaw-bake split test. The results show that the short-term water stability of acid diorite asphalt mixture of 3 treatment methods is good. The 10 times freeze-thaw-bake split strength ratios of hydrated lime water immersion aggregate and cement instead of mineral powder treatment methods are 91%, 89% respectively, and the long-term water stability is good. The anti-stripping agent modified asphalt treatment method is affected by wet and hot aging, the 10 times freeze-thaw-bake split strength ratio is only 80%, and the long-term water stability is bad.

Keywords: acid diorite; asphalt mixture; adhesiveness; freeze-thaw-bake split test; long-term water stability

收稿日期: 2020-07-27

通信作者: 谭波(1977-), 男, 副教授, 博士, 主要从事路基路面工程及新型建筑材料的研究. E-mail: bbza2004@163.com.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51768015)

随着沥青路面的快速发展,沥青路面的水损坏问题日益受到人们的关注,特别是高温多雨的南方地区的水损坏现象尤为突出^[1].研究表明,集料的酸碱性是影响沥青混合料水稳定性的关键因素,酸性集料与沥青的粘附性较差,遇水极易剥离而出现水损坏现象^[2-5].在某些高速公路项目沿线,酸性集料料源丰富,且公路建设任务繁重,若不能因地制宜地改善并利用酸性集料,势必造成环境破坏、投资增大、工程造价提高、建设工期延长等问题.

目前,改善酸性集料水稳定性的常用方法是用水泥或消石灰替代矿粉、抗剥落剂改性沥青等^[5-10].谢海超等^[11]将水泥作为填料,极大地改善酸性集料沥青混合料的水稳定性.张宜洛^[12]对酸性花岗岩分别掺加抗剥落剂和消石灰,两种方法均可提高花岗岩沥青混合料的水稳定性.彭振兴等^[13]对胺类与非胺类的抗剥落剂性能进行研究,发现非胺类抗剥落剂具有更好的热稳定性和水稳定性.张伟^[14]使用水泥、矿粉和抗剥落剂对酸性卵石沥青混合料的填料进行处理,铺筑试验路观测后,发现路用性能良好.张文涛^[2]对花岗岩掺加抗剥落剂和消石灰后,铺筑试验路,发现其具有良好的抗水损坏性能.吴登睿^[10]依托四川省成都第二绕城高速公路分别试铺单掺水泥、胺类抗剥落剂、消石灰的试验路段,发现单掺消石灰的路面抗水损坏性能优于单掺水泥,单掺水泥的路面抗水损坏性能优于单掺胺类抗剥落剂.以上研究均通过冻融劈裂试验测试酸性集料沥青混合料的水稳定性,也有其他学者通过反复冻融劈裂试验测试混合料的长期水稳定性,但考虑到自然环境下的路面除了受到冻融破坏外,还受到高温、老化的影响.因此,本文通过反复冻融烘劈裂试验评价消石灰水浸泡集料、水泥替代矿粉和抗剥落剂改性沥青 3 种处治方法下酸性闪长岩沥青混合料的长期水稳定性能.

1 原材料

1.1 沥青与抗剥落剂改性沥青的基本性能

对 70 # 基质沥青与加入 XT-1 型非胺类抗剥落剂改性后的沥青(抗剥落剂改性沥青)开展基本技术指标的测试,结果如表 1 所示.由表 1 可知:改性前与改性后的沥青基本性能均符合 JTG F40—2004《公路沥青路面施工技术规范》的要求;与改性前的沥青相比,改性后的沥青的针入度、针入度指数和延度增大,软化点降低,这可能是由于添加抗剥落剂后,沥青中的轻质成分相对增加,而沥青质含量相对降低,导致沥青的针入度、延度增大,软化点降低.此外,抗剥落剂的非极性基团与沥青发生吸附作用,使沥青的内部分子链更加紧密,分子间作用力增大,分子间所需能量增多,导致针入度指数增大.改性后的沥青流动性增大,与石料的包裹更加紧密,从而增强了水稳定性.

表 1 70 # 基质沥青与抗剥落剂改性沥青的基本技术指标

技术指标	70 # 基质沥青	抗剥落剂改性沥青	规范要求
25 ℃,100 g,5 s 下针入度/mm	68.9	69.7	60.0~80.0
针入度指数	-1.17	-0.93	-1.50~1.00
10 ℃,5 cm·min ⁻¹ 下延度/cm	35.6	39.0	≥15.0
软化点(环球法)/℃	49.7	48.1	≥46.0

1.2 闪长岩集料

1.2.1 闪长岩集料的酸碱性测试 目前,检测石料酸碱性的常用方法主要有 pH 值法、碱值法和 Zeta 电势法等,但 pH 值法不能很好地表征石料的酸碱性,而碱值法和 Zeta 电势法可以快速定量集料的酸碱性^[15-16].因此,通过 JTG E42—2005《公路工程集料试验规范》的碱值试验判断集料的酸碱性,但考虑到石料中的钙盐与稀硫酸反应生成微溶于水的硫酸钙,硫酸钙覆盖在反应物表面会阻碍反应的进行,故采用集热式搅拌恒温油浴锅,使反应更充分,结果更准确.

将 100 mL 标准稀硫酸溶液(0.25 mol·L⁻¹)分别与分析纯碳酸钙粉末((2.000 0±0.000 2) g)、已研磨好的闪长岩(红)、闪长岩(黑)、花岗岩及石灰岩(均为(2.000 0±0.000 2) g)在集热式搅拌恒温油浴锅中冷凝回流反应 30 min,用精密酸度计测定反应后溶液上层清液的 pH 值,并根据 pH 值计算氢离子的浓度.由碱值试验结果可知:闪长岩(红)、闪长岩(黑)、花岗岩、石灰岩的碱值分别为 0.35,0.34,0.34,0.85,故判断闪长岩和花岗岩均为酸性集料,石灰岩为碱性集料.

1.2.2 闪长岩集料的物理力学性能测试 酸性闪长岩集料均来自广西浦北至北流高速公路沿线,对粒径分别为 19.00~26.50,16.00~19.00,13.20~16.00,9.50~13.20,4.75~9.50,2.36~4.75 mm 的闪长岩集料和石灰岩集料进行物理力学性能测试,二者的主要技术指标,如表 2 所示.表 2 中: γ_a 为表观相对密度; δ 为吸水率; Q_c 为压碎值; Q_a 为针片状含量; Q 为洛杉矶磨耗值.

由表 2 可知:除粘附等级外,闪长岩集料的主要技术指标均符合 JTGF40—2004《公路沥青路面施工技术规范》的技术要求;酸性闪长岩与沥青的粘附性比碱性石灰岩差,需处理后才可在路面上使用;闪长岩集料的压碎值、洛杉矶磨耗值均远大于石灰岩集料,体现了酸性料硬度高、耐磨性好的优点.

表 2 闪长岩集料与石灰岩集料的主要技术指标
Tab.2 Main technical indexes of diorite and limestone aggregates

技术指标	测试结果		规范要求	技术指标	测试结果		规范要求
	闪长岩	石灰岩			闪长岩	石灰岩	
γ_a (19.00~26.50)	2.742	2.734	≥ 2.600	δ (19.00~26.50)/%	1.24	0.35	≤ 2.00
γ_a (16.00~19.00)	2.741	2.732	≥ 2.600	δ (16.00~19.00)/%	1.40	0.42	≤ 2.00
γ_a (13.20~16.00)	2.734	2.721	≥ 2.600	δ (13.20~16.00)/%	1.42	0.44	≤ 2.00
γ_a (9.50~13.20)	2.741	2.735	≥ 2.600	δ (9.50~13.20)/%	1.50	0.48	≤ 2.00
γ_a (4.75~9.50)	2.707	2.716	≥ 2.600	δ (4.75~9.50)/%	1.46	0.65	≤ 2.00
γ_a (2.36~4.75)	2.733	2.718	≥ 2.600	δ (2.36~4.75)/%	1.50	0.74	≤ 2.00
Q_c /%	14.31	24.30	≤ 26.00	Q /%	9.10	24.90	≤ 28.00
Q_a /%	14.80	6.40	≤ 15.00	粘附等级(3 min)	3	5	≥ 4

2 不同处治方法下沥青混合料的短期水稳定性

2.1 不同处治方法的最佳掺量

2.1.1 水泥的最佳掺量 由于水泥替代矿粉处治方法是在成型马歇尔试件中进行,故无法通过水煮法确定水泥的最佳掺量.基于 JTGF40—2004 规范《公路沥青路面施工技术规范》的 AC-20 中值级配,参照未处治酸性集料的工程经验,选用油石比为 4.5%且双面击实 50 次成型马歇尔试件进行冻融劈裂试验,以获得水泥的最佳掺量.

水泥替代矿粉处治方法的冻融劈裂试验结果,如表 3 所示.表 3 中: w_1 为水泥掺量; R_1 为未冻融劈裂强度; R_2 为冻融劈裂强度; α_{TSR} 为冻融劈裂强度比, $\alpha_{TSR}=(R_2/R_1)\times 100\%$.由表 3 可知:当水泥掺量为 2%时,冻融劈裂强度比达到最大值(88%);当水泥掺量为 3%时,劈裂强度达到最大值(0.91 MPa),但冻融劈裂强度比为 85%.

综上可知,冻融劈裂强度比存在一个峰值,水泥掺量并不是越多越好,而是有一个最优的替代量,水泥的最佳掺量为 2%.

表 3 水泥替代矿粉处治方法的冻融劈裂试验结果
Tab.3 Freeze-thaw split test results of cement instead of mineral powder treatment method

指标	$w_1=1\%$	$w_1=2\%$	$w_1=3\%$	$w_1=4\%$
R_1 /MPa	0.76	0.85	0.91	0.91
R_2 /MPa	0.63	0.75	0.77	0.75
α_{TSR} /%	83	88	85	82

2.1.2 消石灰水及抗剥落剂的最佳掺量 用掺量为 1%(澄清石灰水),10%,20%,30%的消石灰水浸泡集料;用掺量为 0.1%,0.2%,0.3%的抗剥落剂处理沥青.由于 JTGE20—2011《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》的水煮法($t=3\text{ min}$, t 为水煮时间)无法清楚地分辨添加剂处理后闪长岩集料与沥青粘附性能的优劣,故将水煮时间分别延长至 6,9,12 min,由此可得消石灰水的最佳掺量为 30%,抗剥落剂的最佳掺量为 0.3%.水煮法的试验过程,如图 1 所示.

采用延长水煮时间的方法,对闪长岩与石灰岩的粘附等级进行对比分析,结果如表 4 所示.表 4 中: w_2 为消石灰水掺量; w_3 为抗剥落剂掺量.由表 4 可知:当水煮时间延长至 9 min 时,更能直观地看出集料与沥青的粘附性好坏,故推荐水煮时间为 9 min.



图 1 水煮法的试验过程

Fig. 1 Test process of boiling method

表 4 集料的粘附等级

Tab. 4 Adhesion grade of aggregates

t/min	闪长岩粘附等级(消石灰水)				闪长岩粘附等级(抗剥落剂)			石灰岩粘附等级
	$w_2=1\%$	$w_2=10\%$	$w_2=20\%$	$w_2=30\%$	$w_3=0.1\%$	$w_3=0.2\%$	$w_3=0.3\%$	
3	4	5	5	5	5	5	5	5
6	4	4	5	5	4	5	5	5
9	3	4	4	5	4	4	5	5
12	2	3	4	5	3	4	5	5

2.2 沥青混合料的力学性能

采用 3 种处治方法的最佳掺量,按照 JTG E20—2011《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》中双面击实 75 次成型马歇尔试件,分别获得 3 种处治方法相应的最佳油石比($\eta_{\text{aar},\text{b}}$). 在最佳油石比下,测试马歇尔稳定度(S_{M})、流值(s)等力学性能指标,并分析 3 种处治方法的力学性能优劣. 马歇尔力学性能指标,如表 5 所示.

由表 5 可知:水泥替代矿粉处治方法、消石灰水浸泡集料处治方法的最佳油石比略大于抗剥落剂改性沥青处治方法;从短期力学性能上看,抗剥落剂改性沥青处治方法的马歇尔稳定度和流值优于水泥替代矿粉处治方法、消石灰水浸泡集料处治方法.

表 5 马歇尔力学性能指标

Tab. 5 Marshall mechanical property indexes

指标	水泥替代矿粉处治方法	消石灰水浸泡集料处治方法	抗剥落剂改性沥青处治方法
$\eta_{\text{aar},\text{b}}/\%$	4.80	4.70	4.60
S_{M}/kN	14.75	14.25	14.80
s/mm	3.75	3.80	3.45

2.3 沥青混合料的短期水稳定性

采用 3 种处治方法的最佳掺量和最佳油石比,通过冻融劈裂试验评价酸性闪长岩沥青混合料的短期水稳定性. 冻融劈裂试验结果,如表 6 所示.

由表 6 可知:3 种处治方法短期水稳定性良好,均能够满足规范要求;消石灰水浸泡集料处治方法的冻融劈裂强度比为 97%,是 3 种处治方法中的最佳方案,这是由于消石灰水浸泡集料具有改性石料表面酸碱性的作用,使闪长岩集料表面裹覆了一层碱性消石灰粉末,将原本的酸性集料改性为碱性,从而极大提高了水稳定性.

表 6 冻融劈裂试验结果

Tab. 6 Results of freeze-thaw split test

指标	水泥替代矿粉处治方法	消石灰水浸泡集料处治方法	抗剥落剂改性沥青处治方法
R_1/MPa	0.91	0.98	0.81
R_2/MPa	0.86	0.94	0.74
$\alpha_{\text{TSR}}/\%$	94	97	92

3 不同处治方法下沥青混合料的长期水稳定性

3 种处治方法下酸性闪长岩沥青混合料均具有较好的力学性能和短期水稳定性. 然而, 相关研究表明, 抗剥落剂的热稳定性较差, 在高温作用下易失效, 从而导致水稳定性变差, 此外, 在高温作用下, 沥青也会缓慢老化, 两者的协同作用易造成抗剥落剂改性后沥青混合料的水稳定性变差. 因此, 常规冻融劈裂试验无法反映沥青路面在自然环境下发生的水损坏.

为了更好地反映实际情况, 并进一步验证加入外加剂后的改善效果, 在 JTG E20—2011《公路工程沥青及沥青混合料实验规程》的冻融劈裂方法的基础上, 将冻融时间设定为 8 h, 并增加“烘”这一条件, 室内模拟沥青混合料一天内在高温、湿雨条件下的水稳定性, 并循环冻融烘 1, 5, 10 次, 以评价其长期水稳定性, 从而更加全面地评价处治方法的优劣.

将双面击实 50 次成型的试件在真空度为 97.3~98.7 kPa 的条件下保持 15 min; 试件在水中放置 0.5 h 后, 将其放入塑料袋, 加入约 10 mL 的水, 并扎紧袋口, 放入 (-18 ± 2) ℃的恒温冰箱中保持 8 h (最后一次为 16 h); 取出试件, 撤掉塑料袋, 放入 (60.0 ± 0.5) ℃的恒温水槽中保温 8 h, 放入 60℃的烘箱中烘 7 h (最后一次放置烘箱中 8 h), 浸水 1 h; 取出试件, 放入 25℃的恒温冰箱中, 养护不少于 2 h, 如此循环 1, 5, 10 次后进行劈裂试验.

冻融烘劈裂试验, 如图 2 所示. 冻融烘劈裂试验结果, 如表 7 所示. 表 7 中: R_h 为冻融烘劈裂强度; α_{TSBR} 为冻融烘劈裂强度比, $\alpha_{TSBR} = (R_h/R_1) \times 100\%$.

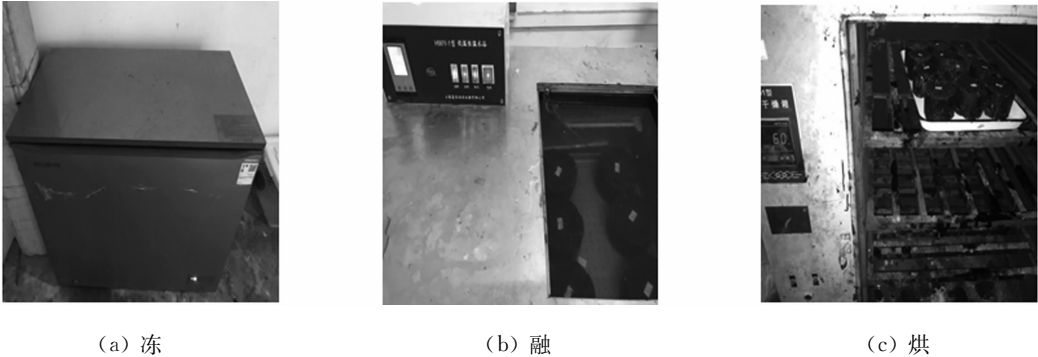


图 2 冻融烘劈裂试验

Fig. 2 Freeze-thaw-bake split test

表 7 冻融烘劈裂试验结果

Tab. 7 Results of freeze-thaw-bake split test

试验	水泥替代矿粉处治方法		消石灰水浸泡集料处治方法		抗剥落剂改性沥青处治方法	
	R_h /MPa	α_{TSBR} /%	R_h /MPa	α_{TSBR} /%	R_h /MPa	α_{TSBR} /%
1 次冻融烘劈裂试验	0.86	94	1.00	102	0.74	92
5 次冻融烘劈裂试验	0.81	89	1.04	106	0.73	91
10 次冻融烘劈裂试验	0.81	89	0.89	91	0.65	80

由表 7 可得到以下 3 个结论.

1) 水泥替代矿粉处治方法和抗剥落剂改性沥青处治方法的冻融烘劈裂强度和劈裂强度比均呈下降趋势; 水泥替代矿粉处治方法反复 10 次冻融烘劈裂强度为 89%, 长期水稳定性良好, 而抗剥落性沥青处治方法反复 10 次冻融烘劈裂强度仅为 80%, 长期水稳定性较差, 这说明了高温会导致沥青和抗剥落剂老化, 从而降低水稳定性.

2) 消石灰水浸泡处治方法的冻融烘劈裂强度及劈裂强度比呈现出先增大后减小的趋势, 反复 10 次冻融烘劈裂强度比达 91%, 长期水稳定性良好.

3) 3 种处治方法在冻融劈裂试验中表现出良好的短期水稳定性, 无法清楚地区分处治方式的优劣, 但在反复冻融烘劈裂试验中, 消石灰水浸泡石料处治方法与水泥替代矿粉处治方法的长期水稳定性较好, 抗剥落剂改性沥青处治方法的长期水稳定性较差.

4 结 论

采用广西浦北至北流高速公路沿线酸性闪长岩集料,对 3 种处治方法下酸性闪长岩沥青混合料的长期水稳定性进行评价,可得以下 4 个结论.

1) 与原沥青相比,抗剥落剂改性后沥青的针入度、针入度指数和延度增大,软化点降低,这使沥青的流动性变大,增强了沥青与石料的包裹性,从而改善沥青混合料的水稳定性.

2) 通过冻融劈裂试验可得水泥替代矿粉处治方法的水泥最佳掺量为 2%,最佳油石比为 4.8%,马歇尔稳定度为 14.75 kN;通过水煮法可得消石灰水浸泡集料处治方法的消石灰水最佳掺量为 30%,最佳油石比为 4.7%,马歇尔稳定度为 14.25 kN;通过抗剥落剂改性沥青处治方法的抗剥落剂最佳掺量为 0.3%,最佳油石比为 4.6%,马歇尔稳定度为 14.80 kN. 通过冻融劈裂试验发现 3 种处治方法的短期水稳定性良好,均符合规范要求.

3) 通过冻融烘劈裂试验可以判断 3 种处治方法的优劣,抗剥落剂改性沥青处治方法反复 10 次冻融烘劈裂强度比仅为 80%,长期水稳定性较差,说明高温导致沥青和抗剥落剂老化,降低了水稳定性.

4) 消石灰水浸泡处治方法具有最佳的长期水稳定性,反复 10 次冻融烘劈裂强度比为 91%,且短期高温对其强度具有增强作用,但浸泡处理增加了工程应用的难度;水泥替代矿粉处治方法反复 10 次冻融烘劈裂强度比为 89%,该方法工艺简单,掺加少量水泥即可达到很好的效果. 因此,水泥替代矿粉处治方法可推荐于工程应用.

参考文献:

[1] 沙庆林. 高速公路沥青路面早期破坏现象及预防[M]. 北京:人民交通出版社,2001.

[2] 张文涛. 花岗岩在高温多雨地区沥青路面上面层的应用研究[D]. 南京:东南大学,2016.

[3] 李腾飞. 花岗岩碎石在海南沥青路面表面层中应用性研究[D]. 长沙:长沙理工大学,2017.

[4] 钟昆志,罗蓉,邓冲,等. 高温多雨地区破碎砾石沥青混合料路用性能[J]. 公路交通科技,2018,35(7):9-14. DOI: 10.3969/j. issn. 1002-0268. 2018. 07. 002.

[5] 刘涛. 石灰等添加剂改善沥青混合料的水稳定性[D]. 长沙:湖南大学,2003.

[6] 丁才. 抗剥落剂对沥青及花岗岩沥青混合料性能影响研究[D]. 长沙:长沙理工大学,2017.

[7] 钱晓鸥. 水泥改善酸性集料与沥青粘附性的试验分析[J]. 青海师范大学学报(自然科学版),2013,29(2):66-73.

[8] 王旭东,戴为民. 水泥、消石灰在沥青混合料中的应用[J]. 公路交通科技,2001,18(4):20-24. DOI:10.3969/j. issn. 1002-0268. 2001. 04. 006.

[9] 樊见维,徐景翠,徐鹏,等. 酸性类蚀变闪长岩集料沥青混合料路用性能对比研究[J]. 中外公路,2018,38(5):182-187. DOI:10.14048/j. issn. 1671-2579. 2018. 05. 040.

[10] 吴登睿. 水泥与胺类抗剥落剂协同作用对沥青路面路用性能的影响研究[D]. 重庆:重庆交通大学,2016.

[11] 谢海超,张辉,李彦兵,等. 水泥作为填料在沥青混合料中的应用[J]. 公路交通科技,2002,19(5):62-64. DOI:10.3969/j. issn. 1002-0268. 2002. 05. 018.

[12] 张宜洛. 花岗岩沥青混合料水稳性解决措施研究[J]. 筑路机械与施工机械化,2003,20(1):9-12. DOI:10.3969/j. issn. 1000-033X. 2003. 01. 004.

[13] 彭振兴,杨志,高和生. 胺类与非胺类沥青抗剥落剂性能的评价[J]. 交通科技,2005(6):94-96. DOI:10.3963/j. issn. 1671-7570. 2005. 06. 037.

[14] 张伟. 破碎卵石在沥青路面中的应用研究[D]. 武汉:武汉理工大学,2012.

[15] 原健安,张登良,姚能富. 石料碱值测定方法研究[J]. 公路,1994(11):44-45.

[16] 赵睿. 集料酸碱性评价方法及其试验研究[C]//建筑科技与管理学术交流会. 北京:[出版者不详],2014:2-3.

(责任编辑: 钱筠 英文审校: 刘源岗)